

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-108812  
(P2001-108812A)

(43) 公開日 平成13年4月20日 (2001.4.20)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テコード* (参考)
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	2 H 0 4 9
3/08		3/08	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-290875

(22) 出願日 平成11年10月13日 (1999. 10. 13)

(71) 出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 湯近 恵美  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小松 一彦  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100075753  
弁理士 和泉 良彦 (外2名)

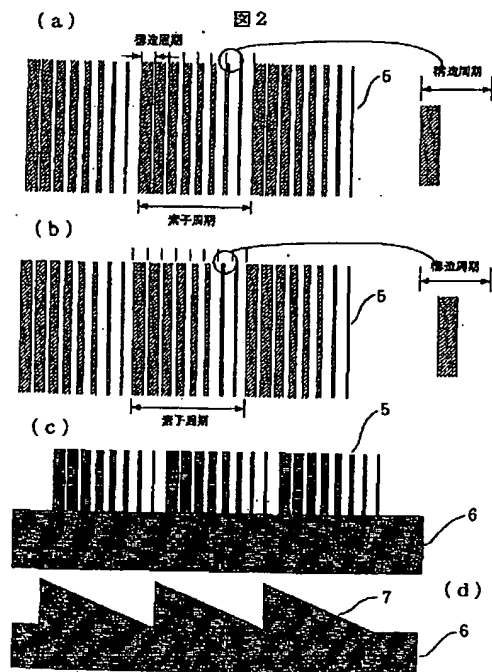
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子

(57) 【要約】

【課題】 製作工程数が少なく、製作が比較的容易で、集積化が可能な、回折効率の高い光学素子を得る。

【解決手段】 基板6の表面に2値構造を有し、この2値構造の分布状態を変化させて、実効的な屈折率を前記表面内の位置によって変化させ、入射光の波面を変化させる光学素子であって、前記2値構造は、1組の前記2値構造の前記表面の一方の寸法が前記入射光の波長以下の微細構造である。



BEST AVAILABLE COPY

# 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板の表面に2値構造を有し、前記2値構造の分布状態を変化させて、前記基板の実効的な屈折率を前記表面内の位置によって変化させ、入射光の波面を変化させる光学素子であって、前記2値構造は、1組の2値構造の前記表面の一方の寸法が前記入射光の波長以下の微細構造であることを特徴とする光学素子。

【請求項2】前記表面には、光学素子としての機能を持たせるための前記実効的な屈折率の値が最大値から最小値まで緩やかに変化する領域が複数同一方向に並んで存在し、その各領域の中に前記実効的な屈折率の制御のための前記入射光の波長以下の微細構造の周期的な繰り返しを組み込まれ、前記微細構造の周期的な繰り返しの中で前記微細構造のパターン分布に変化があることを特徴とする請求項1記載の光学素子。

【請求項3】前記微細構造のパターン分布の変化の方向が1次元であることを特徴とする請求項2記載の光学素子。

【請求項4】前記実効的な屈折率の変化の繰り返しの方向と、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が平行であることを特徴とする請求項3記載の光学素子。

【請求項5】前記実効的な屈折率の変化の繰り返しの方向と、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が垂直であることを特徴とする請求項3記載の光学素子。

【請求項6】前記微細構造のパターン分布の変化の方向が2次元であることを特徴とする請求項2記載の光学素子。

【請求項7】前記2値構造は前記表面のエッチングにより形成されることを特徴とする請求項1、2、3、4、5または6記載の光学素子。

【請求項8】前記2値構造は前記表面上に設けた薄膜により形成されることを特徴とする請求項1、2、3、4、5または6記載の光学素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、微小光学素子の設計に係り、例えば、LSIのチップ間、チップを複数搭載したボード間、あるいはボードを装着した架間や装置間における光接続や光通信など、光信号を用いるあらゆる分野にわたる微小光学素子に関する。

【0002】

【従来の技術】図7は従来の光学素子を説明するための図である。

【0003】微小光学素子は、図7(a)に示すようなレンズ71などの屈折型光学素子では、厚さが厚くなりすぎる等の理由から、使用する光の波長の整数倍の光路差に相当する厚さ分を取り除き、図7(b)に示すような最大の厚みが光路差一波長分に相当する位相フレネルレンズ72を用いるのが理想的である。

【0004】フレネルレンズの各帯の位置は、中心から

の距離を $r$ とすると次式で表される。

$$【0005】r = (2nf\lambda + n^2\lambda^2)^{1/2} \dots (1)$$

ここで、 $\lambda$ は光の波長、 $f$ はレンズの焦点距離、 $n$ は正の整数で、中心から何番目の帯であるかを示す。フレネルレンズは、内側の低周波数領域では屈折、外側の高周波数領域では回折の効果が大きく寄与して波面を変換する集光素子である。設計通りの形状が再現できれば、ほぼ100%に近い効率が得られるが、図7(b)のフレネルレンズ72のような連続的な曲面や、傾斜の異なる斜面などを忠実に再現するのは困難で、素子の小型化、微細化が進むなか、焦点距離やレンズ径などの異なる素子の集積化を考えると、実用的にはほぼ不可能である。

【0006】これに対して、図7(c)に示した位相型フレネルゾーンプレート(FZP)73は、回折効果のみで波面変換を行う素子で、(b)のフレネルレンズ72を0、 $\pi$ の2値の位相で近似したものと考えることができる。この素子では、(c)に示すごとく、深さが一定の溝を形成すればよいので、微細化、集積化した場合にも、従来の半導体の大規模集積回路(LSI)におけるプロセス技術、リソグラフィ技術を使えば比較的容易に製作できる。しかし、特に中心部で回折効果が少ないため、設計通りに形成できた場合でも、40、5%と効率が低い。

【0007】そこで、LSIのリソグラフィ技術を用いて少しでも効率の高い素子を作るため、(b)の理想形状を階段型形状で近似した図7(d)に示すデジタルブレーズド素子74が作られるようになった。

【0008】図7(d)は、簡単のため4段階近似の場合を図示したものである。実際には、8段階、16段階などが試作されている。これらの素子は、露光によるレジストパターン形成と、それをマスクとしたエッチング工程を $n$ 回繰り返すことにより、2<sup>n</sup>段階の近似形状を形成する。4段階、8段階、16段階と上がるにつれ、理論上の回折効率は、81%、95%、99%と向上するが、その分、必要とするマスク数や工程数も2回、3回、4回と増えていき、それに伴い、マスク精度や、重ね合わせの精度も要求され、コストの上昇は避けられない。

【0009】ここまでは、光学素子として有効に機能するための位相差を、厚みを変えることで調整する素子について述べた。しかし、位相差は、素子の厚みと屈折率によって決まるため、厚みを一定とし、屈折率を変えることで位相差を調整する方法も考えられる。

【0010】図7(e)、(f)は、素子媒質の屈折率を変化させることで、光路差を変調しようという屈折率変化素子75を示し、図7(e)はその厚さを、図7(f)はその屈折率を示す。

【0011】このような素子が設計通り実現できれば効率は100%に達すると考えられる。例えば、素子媒質の屈折率を変化させるのは選択的に拡散するイオン交換

法等により行われる。この方法では屈折率分布を中心部から周辺部に向かって様に変化させ、基板表面に単純な円形のレンズ素子を形成することは可能である。しかし、屈折率分布の勾配を場所によって任意に制御することは困難なため、様々な要求に対応するレンズ素子を集積化して形成することや、図7(f)に示すような局所的な屈折率分布を実現することは不可能である。

#### 【0012】

【発明が解決しようとする課題】以上、述べてきたように従来の位相型光学素子では、連続的に位相が変化するものは製作が困難である。また、段階的に位相が多値に変化するものは、位相のレベル数を減らせば、効率が低くなり、レベル数を増やせば製作工程数が増え、コストが上昇し、製作が困難になるという問題点があった。

【0013】本発明は上記の問題点に鑑みて創案されたもので、その目的は、製作工程数が少なく、製作が比較的容易で、集積化が可能な、回折効率の高い光学素子を得ることにある。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明では、使用する光の波長よりも短い周期を持つ2値構造により、透過または反射する光の位相を制御して光学素子を形成する。

【0015】すなわち、本発明の光学素子は、基板の表面に2値構造を有し、前記2値構造の分布状態を変化させて、前記基板の実効的な屈折率を前記表面内の位置によって変化させ、入射光の波面を変化させる光学素子であって、前記2値構造は、1組の2値構造の前記表面の一方の寸法が前記入射光の波長以下の微細構造であることを特徴とする。

【0016】また、前記表面には、光学素子としての機能を持たせるための前記実効的な屈折率の値が最大値から最小値まで緩やかに変化する領域が複数同一方向に並んで存在し、その各領域の中に前記実効的な屈折率の制御のための前記入射光の波長以下の微細構造の周期的な繰り返しを組み込まれ、前記微細構造の周期的な繰り返しの中で前記微細構造のパターン分布に変化があることを特徴とする。

【0017】また、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が1次元であることを特徴とする。

【0018】また、前記実効的な屈折率の変化の繰り返しの方向と、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が平行であることを特徴とする。

【0019】また、前記実効的な屈折率の変化の繰り返しの方向と、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が垂直であることを特徴とする。

【0020】また、前記微細構造のパターン分布の変化の方向が2次元であることを特徴とする。

【0021】また、前記2値構造は前記表面のエッチングにより形成されることを特徴とする。

【0022】さらに、前記2値構造は前記表面上に設けた薄膜により形成されることを特徴とする。

【0023】本発明では、上記の構造により、イオン交換や熱拡散などによる屈折率制御を行わず、また中間厚みも必要としないため、通常のリソグラフィの方法を用いて比較的容易に、回折効率の高い微細な光学素子を作製できる。また、集積化も可能である。

#### 【0024】

【発明の実施の形態】以下、図面を用いて本発明の実施の形態について詳細に説明する。なお、以下で説明する図面で、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0025】図1は、本発明の基本的な考え方となる人工屈折率制御構造(ARI構造)による光学素子形成の概念を示す図である。

【0026】一般に透過型の回折格子10に光2が入射すると、入射方向からの開き角 $\theta$ の方向に回折光3が出射される。

【0027】このとき、回折角 $\theta$ は、光の波長 $\lambda$ と格子の周期 $p$ を用いて $\sin \theta = m\lambda / p \dots (2)$ で表される。 $m$ は回折の次数で、 $m=1$ の場合の1次回折光が最も小さい角度方向に伝搬する。

【0028】しかし、式(2)からもわかるように、格子の周期 $p$ が短くなるほど1次回折光の角度 $\theta$ は大きくなる。

【0029】図1(b)に示すように、入射光の波長 $\lambda$ より周期 $p$ が短くなると、 $\sin \theta > 1$ となり、1次回折光3が消滅する。1次回折光3がなくなると、この回折格子1を通過する光は0次光4だけとなる。

【0030】入射光の波長 $\lambda$ に比べて格子の周期 $p$ が充分短いとき、この回折格子1は均質な媒質のように振る舞い、回折格子1を透過した0次光4は、回折格子1を形成する物質の屈折率よりも小さい(空気の屈折率に近い)屈折率の媒質を透過したのと同様の位相変調を受ける。

【0031】すなわち、図1(b)の回折格子1は、物質の屈折率 $n_s$ と周囲の屈折率 $n_0$ との中間値を持つ均質な媒質のように振る舞う。ここで、回折格子の物質部分をパターン部と呼ぶことにすると、格子のパターン密度を変えることで、見かけ上の屈折率を制御することができる。この性質を利用して、場所によって実効的な屈折率を変えることで光学素子を作ることができる。

【0032】従来技術のところで説明したように、図7(f)に示すような屈折率分布を、イオン交換など物質の組成を変えることで直接屈折率を変化させるのではなく、使用する光の波長より短い周期を持つ2値の位相格子により、実効的な屈折率を変化させて、例えば図7(f)と同等な実効屈折率分布を与え、透過光(または反射光)の位相を変化させることで、その波面を特定の方向に向け、あるいは集光させることができる。図1

ように、一素子周期内を波長以下の人工屈折率制御構造周期に分割し、分割された各々の構造周期内に順次要求される位相差を与えるような線幅の線パターンを形成することで、図2(d)にその断面図を示すような位相回折格子7と同等の機能を持つ光学素子ができる。

【0044】図2(a)と(b)の違いは、次の通りである。(a)では一構造周期内での線パターンを必ず構造周期内の位相差の大きい方の端に接するという規則を設けて線パターンを配置しているため、付与すべき位相差が決まればそれ以外の自由度はなく一意的に線パターン配置が決まる。一方、(b)では(a)のような規則を設けず、一構造周期内での線パターンの配置位置を自由度として残したため、例えば光学素子としての回折効率を最大にするような配置位置の最適化をすることができる。

【0045】(1次元レンズ：平行ARI構造)また、この他にも直角座標での1次元素子で1方向にのみ集光機能を持った1次元レンズ(またはシリンドリカルレンズ)に相当するような光学素子を、上述のような人工屈折率制御の構造周期方向が素子周期方向に一致する構造で形成する例も同様に考えられる。

【0046】図には示さないが、図2(a)や(b)において、各素子周期が一定でなく、集光機能を持つように、直角座標での1方向の端点の座標値が上述の式

(1)で与えられるようなマクロ構造とし、その各帯内は、図2(a)、(b)と同様のARI構造とする例も考えられる。

【0047】実施例2(フレネルレンズ：平行ARI構造)

人工屈折率制御の構造周期方向が、光学素子形成のための素子周期方向(屈折率勾配の方向)に一致する他の例を図3に示す。

【0048】図3(a)は、集光機能のあるフレネルレンズを人工屈折率制御構造で形成した例である。8はフレネルレンズである。

【0049】このような光学素子は、図2の場合(直角座標)とは、座標系の異なる極座標での1次元素子と考えることができる。

【0050】この光学素子における周期は一定ではなく、その輪帯の端点の位置は、上述の式(1)で決まる。

【0051】この実施例では、屈折率勾配の方向が動径方向なので、人工屈折率制御の構造周期の方向も動径方向となり、一素子周期内を動径方向に波長以下の周期に分割し、分割された各々の構造周期内に順次要求される位相差を与えるような線幅の円周パターンを形成することで、図3(b)に上から見た図、(c)にその断面図を示すような厚みにより位相を制御した通常のフレネルレンズ9と同等の機能を持つ光学素子ができる。なお、図3(b)における濃淡は、フレネルレンズ9の厚みの大小を表す。

【0052】ここでは、図の複雑さと重複を避けるため、一構造周期内での円周パターンを、必ず一構造周期内の位相差の大きい方の端に接するという規則を設けて、円周パターンを配置した例のみを挙げたが、実施例1の場合と同様、一構造周期内のどの部分に円周パターンを配置するかをあらかじめ決めずに自由度として残す素子も考えられる。

【0053】また、図3(a)に示した構造の外側にも同様な円周パターンの繰返しをさらに有する場合があることは言うまでもない。

【0054】実施例3(1次元回折格子：直交ARI)次に、人工屈折率制御の構造周期方向が光学素子形成のための素子周期方向(屈折率勾配の方向)と直交するような素子の例を図4に示す。

【0055】図4(a)は図2と同様の等間隔回折格子を人工屈折率制御構造により実現した例を示す上面図である。11は1次元回折格子である。

【0056】この場合は、屈折率勾配の方向に対し、垂直方向に人工屈折率制御構造の周期を設定しているので、各構造周期内の屈折率勾配は、全て等しく、図のように素子周期内の屈折率勾配をそのままパターン率に変換したような形になる。

【0057】図4(b)は(a)の一周期内パターン12の拡大図であり、どちらか決められた一端からパターンを配置するという配置規則を課したものである。

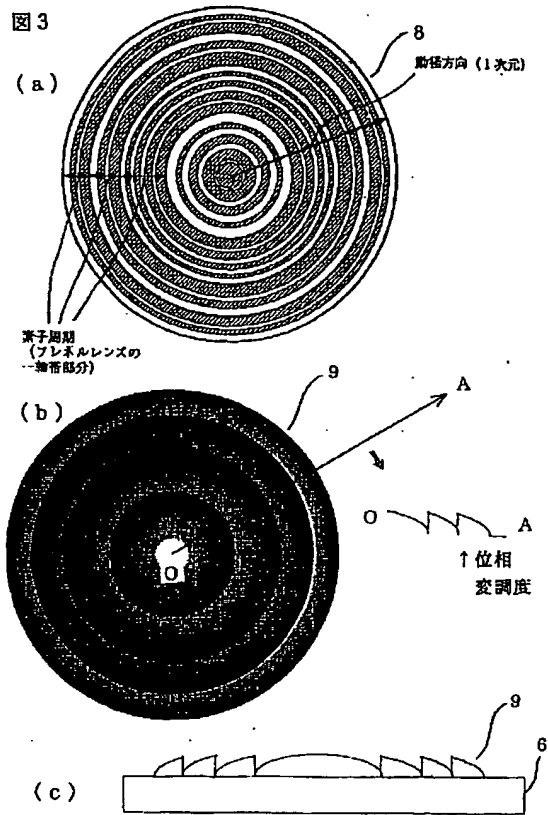
【0058】図4(c)は、同じく一周期分のパターン12の拡大図であるが、こちらは、パターンを中心部に寄せるといった規則で配置している。このように、屈折率勾配をパターン面積率に置き換えた配置であれば、これら2種類にこだわらず自由な配置が可能である。

【0059】(1次元レンズ：直交ARI)また、この他にも直角座標での1次元素子で1方向にのみ集光機能を持った1次元レンズ(またはシリンドリカルレンズ)に相当するような光学素子を、上述のような人工屈折率制御の構造周期方向が素子周期方向と直交する構造で形成する例も同様に考えられる。これを図4(d)に示す(上面図)。13は1次元レンズである。この例においても、内部のパターン12の形状は、図4(b)や(c)に示すような構造や、それ以外でも屈折率勾配をパターン面積率に置き換えた配置であれば、これら2種類にこだわらず自由な配置が可能である。

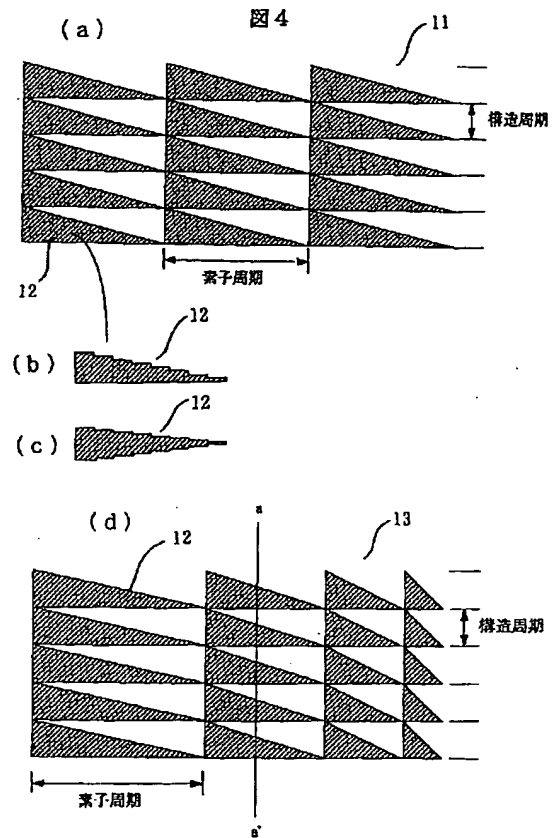
【0060】実施例4(フレネルレンズ：直交ARI)実施例3と同様に、人工屈折率制御の構造周期方向が、光学素子形成のための素子周期方向(屈折率勾配の方向)と直交するような素子の他の例を図5に示す。

【0061】この実施例は、実施例2の図3と同様の機能を持つフレネルレンズを、ARI構造周期方向が素子周期方向と直交するような構造で形成した例である。14はフレネルレンズ、15は厚みにより位相を制御した通常のフレネルレンズである。図5(b)に上から見た

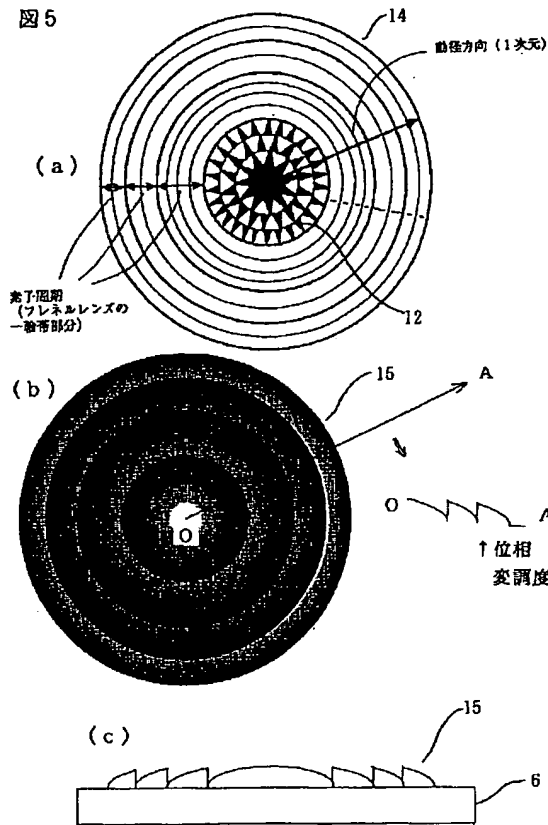
【図3】



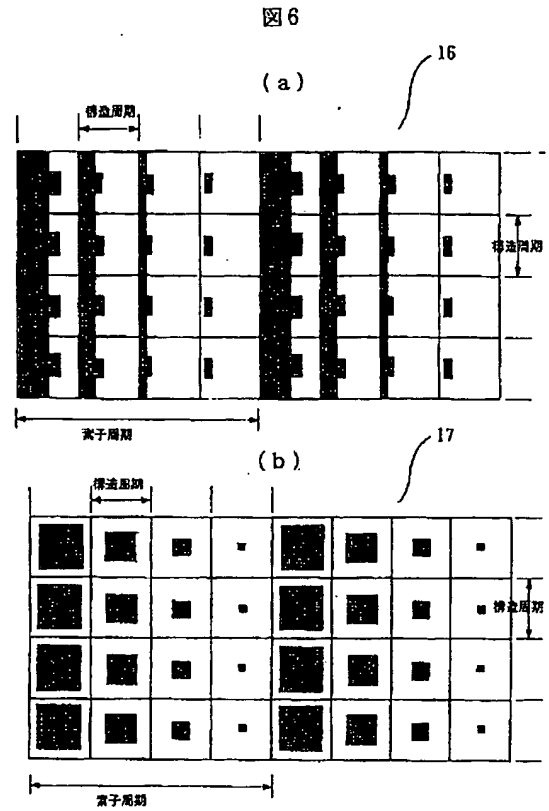
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 福田 浩  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日  
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H049 AA03 AA04 AA33 AA37 AA44  
AA45 AA59 AA63

[0014]

[Means to Solve Problem]

In order to solve the problem, in the present invention, an optical device is formed by controlling a phase of light which transmits or reflects by having a binary structure with a shorter period than a wavelength of light to be used.

[0015]

That is to say, the optical device according to the present invention has a binary structure on a surface of a substrate and is operable to change a distribution state of the binary structure, change an effective refractive index of the substrate depending on a position in the surface, and change a wave front of the incident light, wherein the binary structure is a fine structure with a dimension of one direction on the surface of one pair of binary structures that is less than a wavelength of the incident light.

[0016]

Further, regions are arranged in a same direction on the surface, the regions being in which a value of the effective refractive index for functioning as the optical device slowly changes from the maximum value to the minimum value, wherein a periodic repetition of the fine structure with a wavelength less than the incident light is embedded in each region for controlling the effective refractive index, and a pattern distribution of the fine structure changes in the periodic repetition of the fine structure.

[0017]

Further, a direction of the change in the pattern distribution of the fine structure is one dimensional.

[0018]

Further, the direction of the repetition of the change in the effective refractive index is parallel to the direction of the change in the pattern distribution of the fine structure.

[0019]

Further, the direction of the repetition of the change in the effective refractive index is vertical to the direction of the change in the

pattern distribution of the fine structure.

[0020]

Further, the direction of the change in the pattern distribution of the fine structure is two-dimensional.

[0021]

Further, the binary structure is formed by etching the surface.

[0022]

Further, the binary structure is formed with a thin film formed on the surface.

[0031]

That is to say, a diffraction grating 1 shown in Fig. 1(b) behaves like a homogenous medium having an intermediate value between a refractive index  $n_m$  of a material and a refractive index  $n_0$  of the periphery. Here, suppose a material part of the diffraction grating is called as a pattern unit, a dummy refractive index can be controlled by changing a pattern density of the grating. Using this characteristic, the optical device can be formed by changing the effective refractive index depending on a position.

[0032]

As described in the related art, in the refractive index distribution as shown in Fig. 7(f), a refractive index is changed not by directly changing a composition of a material such as ion exchange but by changing an effective refractive index with a binary phase grating with a period less than a wave length of light to be used, an effective refractive index distribution that is same as shown in Fig. 7(f) is provided, and the wave length is directed to a particular direction by changing a phase of the permeable light (or refractive light) or the light is collected. Fig. 1(c) is a diagram showing an example of forming an optical device by changing a pattern density using an artificial refractive index control structure shown in Figs 1(a) and (b).

[0033]

That is to say, the optical device according to the present invention has a binary structure on a surface of the substrate, is operable to change a distribution state of the binary structure, change an effective refractive index of the substrate, and change a wave front

of the incident light, wherein the binary structure is a fine structure with a dimension of one direction toward the front direction of a pair of a concavo-convex binary structure that is less than a wavelength of the incident light.

[0034]

An effective refractive index control structure (artificial refractive index control structure) according to the present invention can realize almost all devices which can be manufactured by other methods, the devices, as types of the optical devices, being a device which changes a traveling direction of light such as devices corresponding to a standard diffraction grating, corresponding to a prism, corresponding to a fresnel lens, a device which diverges light into multiple directions, and a device which collects light.

[0037]

Adding further explanation about a method of forming a pattern unit, etching, a light-exposing phenomenon of a photosensitive material, a molding (embossing) and the like are included. Further, as a material in the case of forming the pattern unit by mounting and coating, there are polyimide such as fluorine polyimide, benzocyclobutene (BCB: with photosensitivity), light-curing resin, UV epoxy resin, acrylic resin such as PMMA (sensitive to both ultra-violet light and electronic beam, usable as a resist), and a polymer such as a resist in general. Further, a spin-on-glass (SOG) as a glass material available for coating and the like can be used.

[0048]

Fig. 3(a) shows an example of forming a fresnel lens having a light-collecting function by the artificial refractive index control structure. In the diagram, the reference number 8 indicates a fresnel lens.

[0049]

It is considered that such optical device is a one-dimensional device on a polar coordinate which has a different coordinate system from the coordinate system in the case of FIG. 2 (rectangular coordinate).

[0050]

The period in the optical device is not constant and a position of an end of the cycle is determined by the equation (1).

[0051]

In this embodiment, a direction of a gradient of a refractive index is in a direction of a radius vector so that a direction of structural period of the artificial refractive index control becomes also the direction of the radius vector. An optical device is formed by separating the one device period into periods less than a wavelength in a direction of the radius vector, and forming a circle pattern with a line width having a phase difference sequentially required in each of the separated structural period, the optical device having a function same as that of the standard frasel lens 9, shown in Fig. 3(b) which shows a diagram seen from the above and in Fig. 3(c) which shows the cross-section diagram, in which a phase is controlled by a thickness.

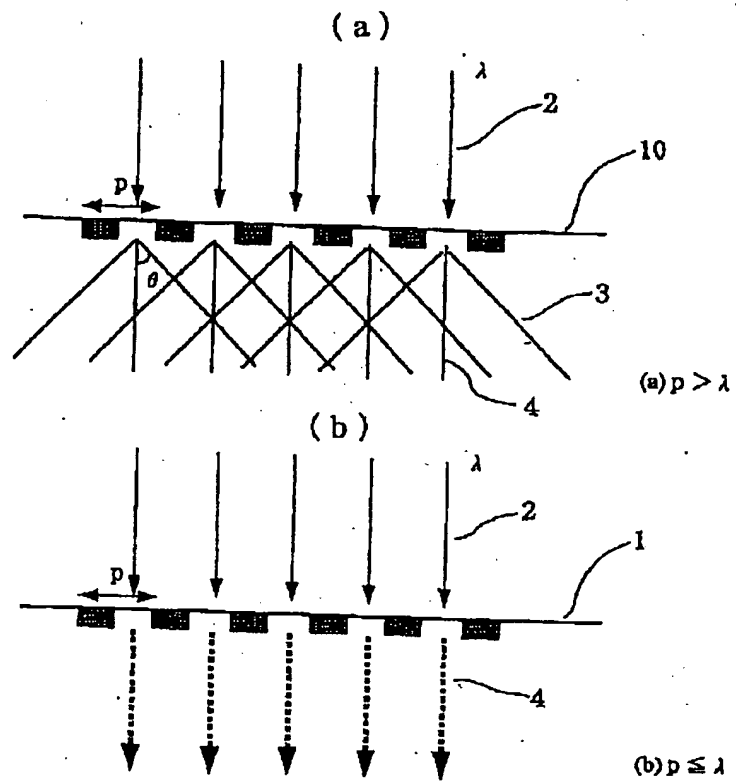
[0052]

Here, in order to avoid a complexity and duplication of the diagrams, an example of positioning a circle pattern is only explained by setting a rule that a circle pattern in one structural period is definitely contacted with an end which has grater phase difference in the one structural period. However, as similar to the first embodiment, a device keeps a degree of freedom by not determining previously about at which part in the one structural period the circle pattern is positioned.

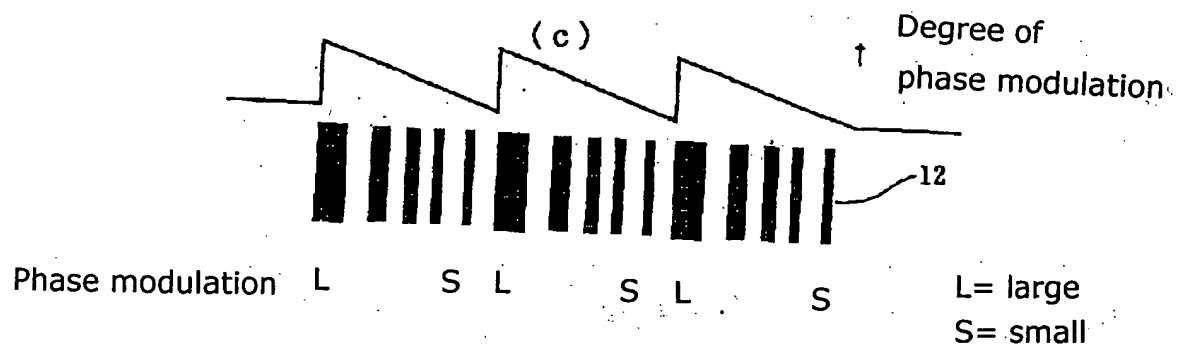
[0053]

Also, not to mention that there is a case that a further repetition of a similar circle pattern is required outside the structure shown in Fig. 3(a).

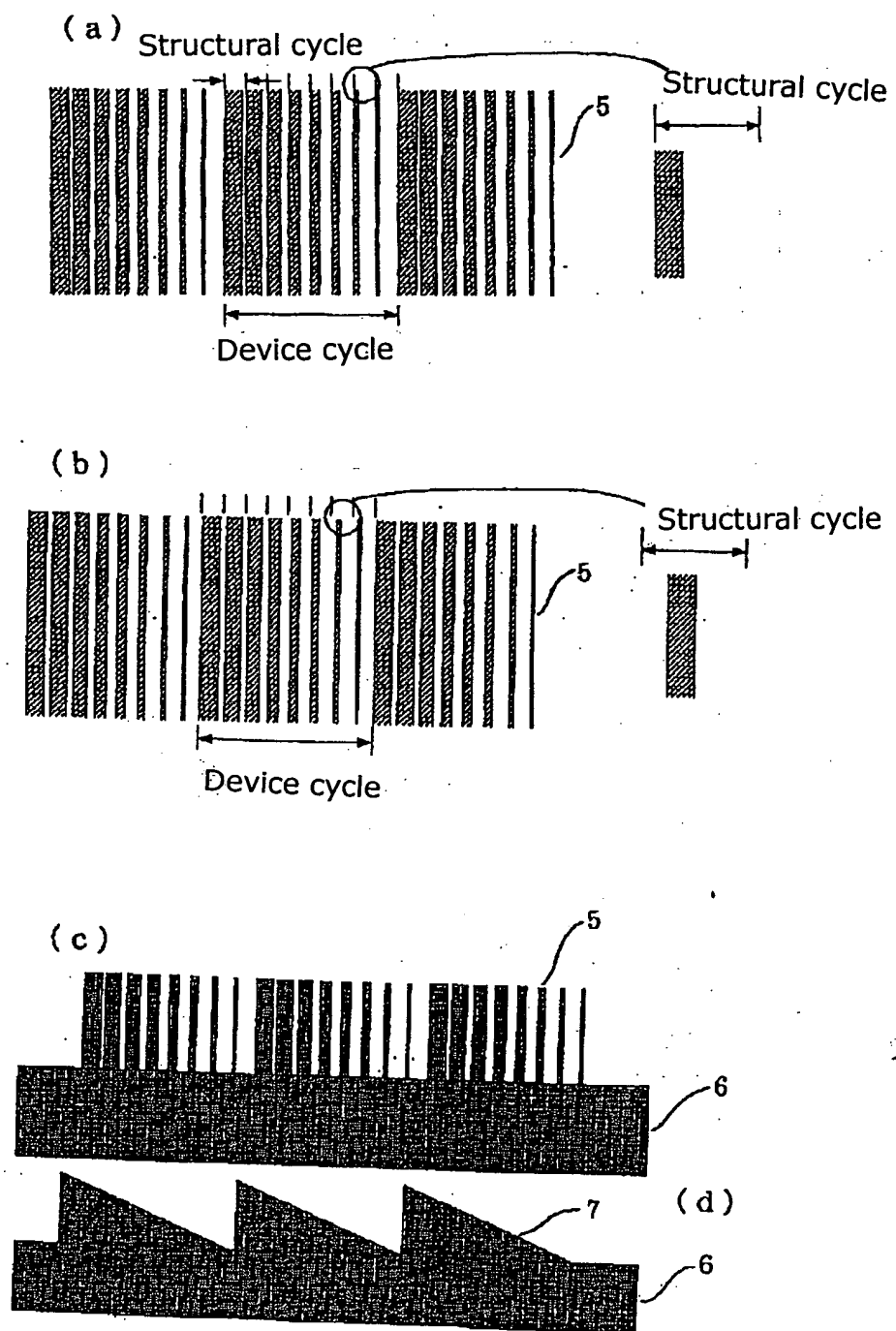
[FIG. 1]



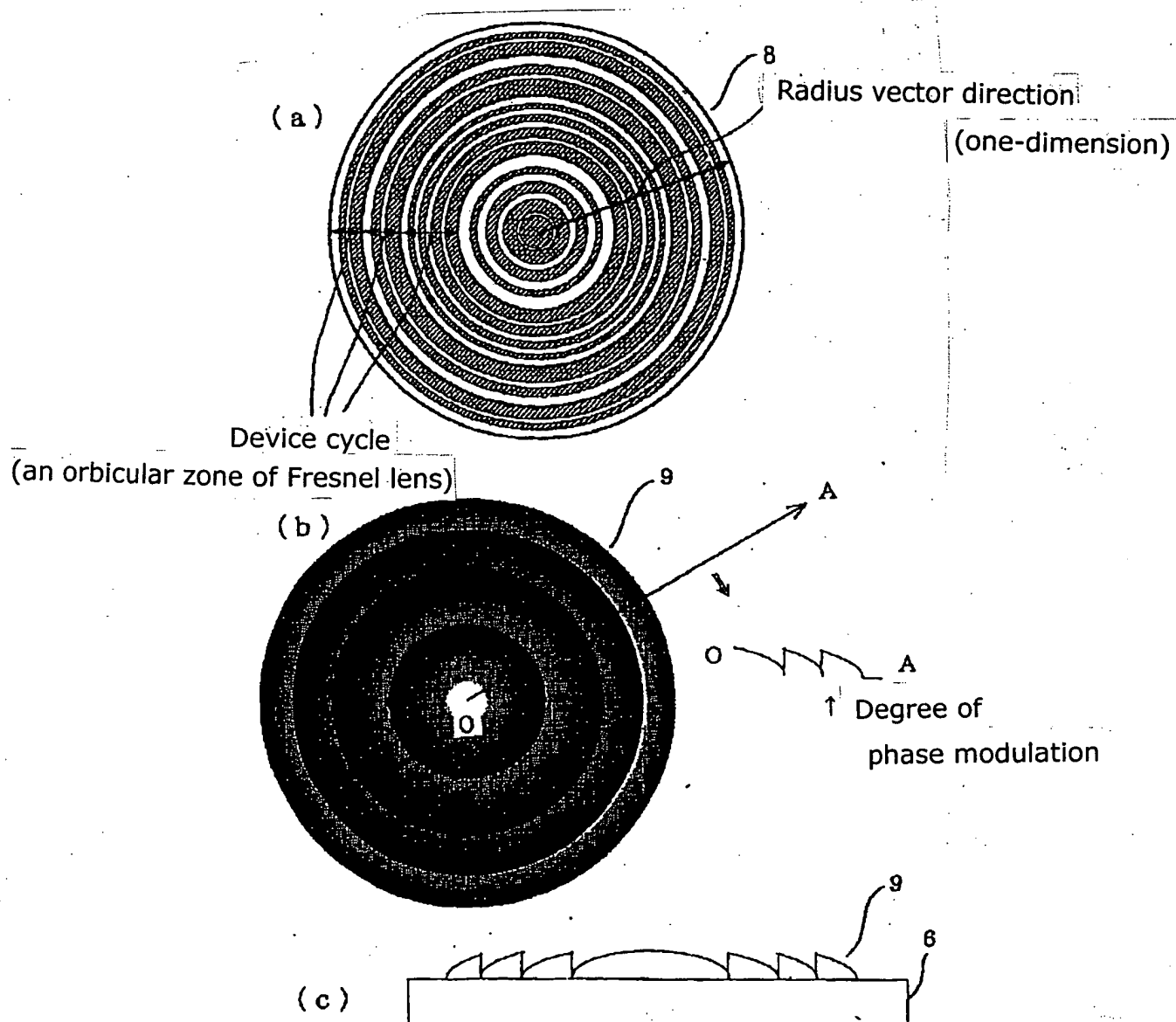
Phase modulation 0-order light



[FIG. 2]



[FIG. 3]



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**